

Evolution des caractéristiques des déchets solides ménagers dans la ville de Yaoundé au Cameroun (1995-2015)

Evolution of household solid waste characteristics in Yaoundé city, Cameroon (1995-2015)

Emmanuel Ngnikam^{1,*}, Pascale Naquin², Ritha Oumbe³, K. Bruno Djietcheu⁴

(1) Laboratoire Energie Eau et Environnement (L3E) de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé. B.P. 8390 Yaoundé, Cameroun

(2) CEFREPADE, INSA de Lyon, 69621 Villeurbanne, Cedex, France

(3) Ingénieur, Environnement Recherche Action au Cameroun, BP. 3356 Yaoundé, Cameroun

(4) Ingénieur, Hygiène et Salubrité du Cameroun (HYSACAM)

*Auteur correspondant : emma_ngnikam@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Cette étude met en exergue l'évolution des caractéristiques des déchets ménagers à différentes étapes de la filière et pendant des périodes différentes. Quatre campagnes de caractérisation aval et amont en 1995, 2006, 2011 et 2016 dans la ville de Yaoundé (3,1 millions d'habitants, climat tropical humide). Elle détermine également la production spécifique des déchets ménagers, nécessaire pour planifier toute opération de collecte et de valorisation. Pour évaluer la production spécifique des déchets ménagers, des enquêtes ont été effectuées auprès de 440 ménages choisis selon la méthode stratifiée au hasard, puis le dépôt des sacs poubelles dans les ménages retenus pour le stockage et la collecte de leurs déchets pendant la période d'observation. La durée de stockage des déchets dans la maison est de 48 heures pour chaque campagne. La caractérisation des déchets en amont a été faite directement sur l'ensemble des sacs collectés auprès des ménages, soit une masse totale d'environ 1 800 kg de déchets triés par campagne. La caractérisation des déchets en aval a été effectuée sur les déchets qui arrivent à la décharge. Une masse d'au moins 2 000 kg des déchets a été triée par campagne. La production spécifique des déchets ménagers dans la ville de Yaoundé varie entre 0,5 et 0,8 kg/habitants/jour selon le standing de l'habitat, avec une moyenne de 0,62 kg/hab/jour, ce qui correspond à une production totale de 1920 tonnes par jour en 2016. La production spécifique est restée pratiquement stable entre 1995 et 2015. La fraction fermentescible dans les déchets ménagers de Yaoundé varie entre 50 et 60 % de la matière sèche à la sortie des ménages et 45 à 65 % à l'entrée de la décharge. La masse volumique moyenne en poubelle des déchets ménagers est de 0,3 kg/l à la sortie des ménages, mais elle augmente et double pratiquement pendant le transport, selon le type de véhicule utilisé. Après déversement dans les quais de déchargement, les déchets reprennent pratiquement leur masse volumique initiale. Pendant la saison pluvieuse, la fraction organique peut contenir jusqu'à 80 % d'eau, rendant difficiles certaines filières de valorisation comme le compostage. Sur une période de 20 ans, la production spécifique des déchets ménagers de Yaoundé est restée stable, ainsi que sa composition.

MOTS-CLÉS : déchets ménagers, caractérisation, production spécifique, Yaoundé

ABSTRACT

This study highlights the evolution of the characteristics of household waste at various stages of the value chain and for different periods. Four downstream characterization campaigns were done in 1995, 2006, 2011 and 2016 in the city of Yaoundé (3.1 million inhabitants, tropical humid climate). It also determines the specific production of household waste, necessary for planning any collection and recovery operation. To assess the specific production of household waste, surveys were conducted with 440 households selected according to stratified method, followed by deposit trash bags in any household. The characterization of the upstream waste was made directly on all the bags collected from households, a total mass of about 1 800 kg of waste sorted by characterization campaign. The characterization of downstream waste was carried out on the waste arriving at the landfill. A mass of at least 2 000 kg of waste was sorted by country. The specific production of household waste in Yaoundé varies between 0.5 and 0.8 kg/capita/day as economic level of housing, with an average of 0.62. Compared to the 1995 campaign, this figure has remained virtually stable. The organic matter of household waste varies between 50 and 60 % of dry matter after production in the households and 45-65 % at the entrance of the landfill. The average volumic mass of household waste is 0.3. It is doubled during transport in the compaction trucks, but undergo a slight increase (10 to 20 %) in open trucks. After discharge into loading docks, waste essentially return to their original volumic mass. The moisture level of waste in Yaoundé is between 50 and 65 %. During the rainy season, the organic fraction can contain up to 80 % water, making it difficult for some processes such as composting. During a period of twenty years, the specific production and the characteristic of household waste is remain the same.

KEYWORDS: household waste, characterization, specific production, Yaoundé

Evolution des caractéristiques des déchets solides ménagers dans la ville de Yaoundé au Cameroun (1995-2015)

Emmanuel Ngnikam, Pascale Naquin, Ritha Oumbe, K. Bruno Djietcheu

I. INTRODUCTION

La caractérisation des déchets est l'étape préalable dans tout processus de gestion de déchets. Plusieurs objectifs

peuvent être visés lors de la réalisation d'une campagne de caractérisation des déchets dans une ville. Dans tous les cas, ces informations constituent une base fiable nécessaire pour établir les cahiers des charges de collecte, de transport et de valorisation, ceci quel que soit le mode de gestion des déchets choisi par la municipalité (régie, concession ou affermage). Dans les villes des pays en développement, plusieurs campagnes de caractérisation des déchets ménagers ont été menées, mais les objectifs diffèrent d'une ville à l'autre, ainsi que le protocole retenu (Plateforme RE-SOURCES, 2015). Nous avons relevé que la plupart de ces études n'a pas d'objectifs clairement annoncés avant la campagne, ce qui amène à utiliser des protocoles qui ne garantissent pas souvent la reproductibilité et la représentativité des résultats. Dans la littérature scientifique en la matière, trois protocoles d'échantillonnage basés sur une collecte porte à porte des déchets sont proposés. Il s'agit des protocoles ARGUS (Allemagne), IBGE (Belgique), EPA (Etats Unis) (Aloueimine, 2006). En France, la méthode « MODECOM » s'appuie sur un échantillonnage sur benne (ADEME, 1993). Sur la base des retours d'expériences de plusieurs campagnes de caractérisation des déchets, l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) a mis au point un guide de caractérisation des déchets, CARADEME, qui définit les méthodes de prélèvement et de tri des déchets ménagers et assimilés dans divers contextes d'exploitation et diverses étapes de la filière de gestion (ADEME, 2014).

Les villes des pays en développement font face à un important problème de gestion de leurs déchets. Au-delà des difficultés techniques et financières qui sont souvent évoquées, la mauvaise connaissance du gisement des déchets et de ses caractéristiques est un handicap important pour planifier leur gestion. Cette étude fait le point de l'évolution du gisement des déchets ménagers dans la ville de Yaoundé et de leurs caractéristiques au fil du temps. Plusieurs campagnes ont été effectuées en s'inspirant du protocole (ADEME, 1993) en ce qui concerne le flux des déchets entrants à la décharge, mais également le prélèvement en porte à porte en ce qui concerne les déchets directement produits par les ménages. Toutes les campagnes de caractérisation objets

de cette étude avaient pour objectifs de : (1) déterminer la production spécifique des déchets dans la ville afin de fixer les objectifs de collecte dans le cahier des charges du prestataire, (2) connaître la composition des déchets produits par les ménages afin d'évaluer les possibilités de valorisation, (3) connaître les caractéristiques des déchets entrants dans le centre de stockage afin de prévoir la production du biogaz capté et brûlé dans la torchère¹.

2. Matériel et méthodes

2.1. Evaluation de la production spécifique des déchets ménagers pendant les deux campagnes amont (1995, 2011)

C'est la méthode de prélèvement en amont au niveau des ménages qui a été utilisée pendant les deux campagnes. Pour ce faire, la ville a été stratifiée en zones socio-économiques de production et de couverture de collecte des déchets.

2.1.1. Stratification retenue

Cette stratification a pour objectif de définir des zones homogènes suivant le type d'habitation, le niveau de vie des populations, l'activité dominante dans la zone et le niveau d'accessibilité à la parcelle. Elle a été effectuée à partir du découpage de la ville en 5 classes socio-économiques (Ngnikam, 2000), (Communauté Urbaine de Yaoundé, 2011) sur la base des photos aériennes et de la connaissance du tissu urbain par les membres de l'équipe. Les cinq strates obtenues concernent : (1) les quartiers de haut standing et administratif, (2) les quartiers d'habitat de moyen standing, (3) l'habitat de bas standing ou spontané, (4) les quartiers périurbains, (5) la zone commerciale. Ces différentes strates ont été cartographiées pour faciliter la circulation des agents enquêteurs sur le terrain et localiser les îlots devant faire l'objet des enquêtes. La Communauté Urbaine de Yaoundé a fixé un objectif de collecte de 80 % dans les zones de haut standing, 75 à 80 % dans les zones de moyen standing, 70 % dans les quartiers spontanés et 80 % dans les marchés. Le

(1) Ce troisième objectif a été nécessaire à partir de 2007 quand HYSACAM a initié le projet de récupération de biogaz de décharge à Yaoundé.

balayage des rues est concentré dans les quartiers de haut et moyen standing avec un objectif de 30 à 50 % de taux de couverture.

2.1.2. Échantillonnage

C'est la méthode d'échantillonnage stratifié au hasard qui a été retenue pour le choix des ménages. Pour la caractérisation et quantification des déchets à la source, nous avons réuni dans la même opération l'évaluation de la production spécifique des déchets et la caractérisation. Pour ce faire, le nombre de ménages à enquêter par strate devait être choisi de manière à avoir l'échantillon minimum représentatif pour effectuer le tri, notamment 500 kg par strate (ADEME, 1993). Cet échantillon est appelé « échantillon secondaire » qui désigne la masse minimale des déchets à trier, permettant d'avoir une bonne représentativité de tous les constituants des déchets dans l'échantillon. Le nouveau protocole, devenu la norme AFNOR X 30-408, recommande de ne trier et peser à partir de l'échantillon secondaire que les éléments hétéroclites (de grande taille ou de masse volumique élevée) dans un premier temps. Puis dans un deuxième temps, de prendre le quart, soit environ 125 kg dans lequel on trie toute la fraction de granulométrie supérieure à 100 mm, et seulement 7 kg des passants (entre 20 et 100 mm de diamètre) (ADEME, 2014). Sur la base de la quantité minimale nécessaire pour le tri par strate, nous nous sommes appuyés sur les résultats de la production spécifique des déchets dans les anciennes campagnes pour déterminer le nombre de ménages à cibler par strate. Le tri devant se faire sur toute la quantité de déchets collectés auprès des ménages, il nous fallait un minimum de 125 kg des déchets à peser et trier par strate pour être en adéquation avec le nouveau protocole. Nous avons choisi un nombre de ménages permettant de collecter au moins 300 kg de déchets à trier, soit entre 75 et 90 ménages par strate, sur la base de la production spécifique des déchets connue avant la campagne (Ngnikam, 2000). Pour tenir compte des pertes, et des refus de certains ménages de donner leurs déchets aux enquêteurs, nous avons retenu 110 ménages dans chaque strate. Il faut relever que sur le plan statistique, ce nombre de ménage permet d'avoir une marge d'erreur sur les résultats par strate de 10 % avec un niveau de confiance de 90 %. Pour l'ensemble de la ville, les 440 ménages enquêtés permettent d'avoir une marge d'erreur sur le résultat de moins de 5 % avec un niveau de confiance de 95%.

2.1.3. Prélèvement de l'échantillon chez les ménages

Dans chaque strate, des sacs poubelle ont été déposés auprès des ménages sélectionnés et remplis pendant une durée de 48 heures. Cette opération est renouvelée la semaine suivante en changeant les jours de la semaine. Certains auteurs demandent de faire un suivi de la pesée pendant une période de deux semaines (ADEME, 2014), mais dans le cas de Yaoundé, le budget disponible a limité la durée de suivi. Cependant les jours de suivi ont été choisis de manière à

prendre en compte la variation hebdomadaire (les week-ends et les jours de la semaine). Pour tenir compte de la variation saisonnière, certaines campagnes ont été faites pendant la saison sèche et d'autres en saison des pluies. Le dépôt des sacs a été précédé d'une enquête socio-économique rapide auprès de ces ménages pour avoir les informations sur la taille du ménage, l'appréciation du service de collecte reçu et ses améliorations éventuelles. En moyenne 110 sacs ont été déposés auprès des ménages de chaque strate, pour un total de 440 ménages ciblés dans la ville de Yaoundé. Pour le choix des ménages à enquêter, la méthode de grappe a été utilisée. Dans chaque strate, deux à trois grappes sont retenues pour tenir compte de la disparité inter strate. La grappe correspond à un îlot présentant les mêmes caractéristiques urbanistiques et de production des déchets.

Onze enquêteurs ont été recrutés et formés pour conduire cette opération pendant chaque campagne. Après l'enquête socio-économique par questionnaire, chaque ménage enquêté a reçu un sac poubelle de 100 litres pour le stockage de ses déchets pendant la période suivant l'enquête. L'enlèvement des sacs poubelles a été fait par les mêmes enquêteurs le 3^{ème} jour. Pour faciliter la traçabilité entre le sac d'ordures collecté et les données socio-économiques du ménage producteur, une étiquette a été collée à l'intérieur de chaque sac. Cette étiquette porte le même identifiant que la fiche d'enquête. Les sacs remplis ont été rassemblés à des points fixes avant d'être repris et transportés à la décharge pour les opérations de pesées et de tris.

Au total deux campagnes de quantification de la production spécifique des déchets ont été effectuées dans la ville de Yaoundé. Celle de 1995 a été faite en saison sèche et en saison des pluies, dans une période où le service de collecte des déchets n'était pas opérationnel dans la ville. La campagne de 2011 a été réalisée au mois d'août pendant la petite saison sèche.

2.1.4. Pesée des sacs et tri des déchets

Une aire de pesée et de tri des déchets a été aménagée à la décharge de Nkolfooulou avec l'appui de la société Hygiène et Salubrité du Cameroun (HYSACAM). Une fois sur le site, les déchets identifiés par l'étiquette fixée sur leur sac ont été pesés (balance électrique à affichage digital de 150 kg de portée et précision 0,05 kg). Nous avons pu ainsi faire le lien entre la masse du sac et les données socio-économiques du ménage producteur et la durée exacte de stockage des déchets à l'intérieur du ménage. Après la pesée, chaque sac a été ouvert et les déchets déversés sur la table de tri manuel. Ainsi, les déchets collectés dans chaque strate ont été triés séparément. Les tamis utilisés sont à maille de 100 mm, 20 mm et une bâche solide et souple permet de récolter les éléments fins. Tous les passants au tamis de 100 mm ont été intégralement triés, mais les passants de 20 mm n'ont pas fait l'objet de tri. Les déchets ont été triés en 12 catégories afin de faire ressortir les fractions fermentescibles, combustibles et celles pouvant faire l'objet de valorisation en sciences des matériaux.

Chacune des catégories des déchets triés a été pesée pour avoir la masse humide (ou masse brute).

2.2. Mesure de la teneur en eau des déchets

Pour les déchets prélevés auprès des ménages, la teneur en eau a été mesurée sur chaque échantillon après prélèvement d'un échantillon de 1 à 2 kg et séchage à l'étuve à 90 °C jusqu'à masse constante. En effet, ne disposant pas d'étuve de grand volume à Yaoundé, pour faire des échantillons de volume plus important, nous avons choisi pour chaque strate, de constituer plusieurs petits échantillons (10 échantillons ont été prélevés à partir des fractions déjà triées), soit un total de 40 échantillons analysés par campagne. La teneur en eau a été mesurée sur toutes les fractions pouvant retenir de l'eau, notamment : les éléments fins, les matières fermentescibles, les papiers/cartons, les textiles sanitaires, les textiles et plastiques. Seules les fractions sous-représentées et ne pouvant retenir que peu d'eau n'ont pas fait l'objet de prélèvement pour l'analyse du taux d'humidité : les métaux, les verres, les cailloux, les D3E, etc.

Pendant la campagne de 2006 (Ngnikam et Tanawa, 2006), deux méthodes de mesure des teneurs en eau des déchets entrant à la décharge ont été utilisées : le séchage au soleil jusqu'à masse constante et le séchage à l'étuve suivant le protocole décrit précédemment.

2.3. Caractérisation des déchets entrant à la décharge

2.3.1. Prélèvement des déchets

La méthode de prélèvement est commune aux trois campagnes effectuées sur le site de la décharge (2006, 2011 et 2015). La caractérisation des déchets en aval de la filière de collecte a été faite sur le contenu des camions choisis à l'entrée de la décharge. Le choix a été guidé sur la fréquence et la catégorie des camions qui arrivent à la décharge, ainsi que le standing d'habitat de la zone de collecte. Ces données ont été reliées aux secteurs de collecte pour faire le lien avec le type de tissu d'habitation dans lequel les déchets ont été produits. Les secteurs de collecte qui se retrouvent à l'intérieur des différentes strates ont été identifiés auprès du service d'exploitation de la société de collecte (HYSACAM).

Un bac ou un camion de collecte en porte à porte, a été retenu au hasard dans chaque strate en fonction du calendrier d'enlèvement de la société HYSACAM. Une fois choisi, le contenu est d'abord pesé au pont bascule, puis déversé sur l'aire de tri aménagée à cet effet. Une masse représentative de 500 kg a été sélectionnée dans le tas, en utilisant la méthode de pelletage fractionné. Pour cela, on utilise une balance de 150 kg de portée, et une équipe de 8 éboueurs équipés de demi-fûts. C'est une masse de 2000 à 3000 kg des déchets (4 à 6 échantillons pour la ville) qui ont été triés pour chaque

campagne.

2.3.2. Evaluation de la masse volumique des déchets ménagers au niveau des ménages et de ceux entrant à la décharge

Pour les déchets prélevés auprès des ménages, seule la masse volumique en poubelle a été mesurée. Pour ce faire, nous avons utilisé des demi-fûts de 100 litres qui ont été remplis sans tassement et pesés. Pour les déchets entrant à la décharge, la masse volumique en poubelle (obtenue après la pesée des déchets dans les demi-fûts) a été mesurée, suivie de la masse volumique en benne obtenue directement par le ratio entre la masse du contenu de chaque type de camion et son volume.

2.4. Calcul de la composition des déchets

La composition des déchets est déterminée par strate et par classe granulométrique. D'abord sur déchets bruts (humides), puis sur déchets secs. La détermination est d'abord faite sur la classe granulométrique supérieure à 100 mm, puis la classe granulométrique comprise entre 20 et 100 mm, et enfin la composition globale.

3. Résultats

3.1. Evolution de la production spécifique des déchets produits par les ménages

Pour chaque ménage, la quantité de déchets produits ramenée à chaque individu est divisée par la durée de stockage pendant la période d'observation (deux à trois jours)². Le tableau 1 donne la synthèse de la production spécifique des déchets par strate socio-économique pour les campagnes 1995 et 2011. Les mesures pour la campagne 2011 ont porté sur 440 ménages et sur 450 ménages pour la campagne 1995. Pour chacune des deux campagnes, nous avons récolté 275 sacs exploitables ayant permis la détermination de la production spécifique des déchets ménagers par strate socio-économique (Tableau 1). Le pourcentage des sacs mal remplis ou non remis était très élevé dans les quartiers de haut standing (46 % de sacs exploitables).

On peut constater à travers ce tableau que la production spécifique des déchets ménagers varie en fonction des strates socio-économiques d'habitation. Comme on peut s'y attendre :

- les quartiers à habitat de haut standing ont la

(2) En effet, bien que les sacs aient été déposés pour 48 heures, dans certains ménages, la durée réelle de stockage est allée au-delà.

Tableau I : Production spécifique des déchets ménagers en 1995 et 2011

Type d'habitat	Production spécifique 1995 (kg/hab/jour)		Production spécifique 2011 (kg/hab/jour)		
	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type	Nombre de sacs exploités
haut standing	0,95	0,55	0,80	0,67	51
moyen standing	0,75	0,3	0,56	0,24	72
bas standing	0,5	0,25	0,46	0,33	78
périurbain	0,62	0,45	0,67	0,65	74
Ville de Yaoundé (moy. pondérée)	0,6	0,4	0,62	0,48	275

production spécifique la plus élevée, de l'ordre de 0,8 kg/hab/jour en moyenne lors de la campagne de 2011 ;

- elle est en moyenne de 0,56 kg/hab/jour dans les quartiers à moyen standing ;
- de 0,67 kg/hab/jour dans la zone péri-urbaine ;
- de 0,46 kg/hab/jour; la plus faible production, dans les quartiers à habitat spontané.

Mais quelle que soit la strate, on observe une forte variation autour de la moyenne (figures 1 et 2).

L'écart type est très élevé par rapport à la moyenne dans les quartiers périurbains, certainement à cause de la forte variabilité dans le standing de logement dans ces quartiers,

c'est-à-dire du niveau de vie des ménages. Dans toutes les autres strates socio-économiques, la forte variation autour de la moyenne serait liée également au niveau économique des ménages. Les résultats de la campagne de 1995 permettent de dégager une tendance plus nette entre les différentes strates d'habitation (Figure 2). En effet, la production spécifique des déchets ménagers augmente avec le standing de l'habitation, ce qui confirme la tendance observée dans les études similaires (Nghane *et al.*, 2015).

On peut dire à partir de l'analyse de ces figures précédentes, qu'on a deux tendances de production des déchets ménagers dans la ville de Yaoundé.

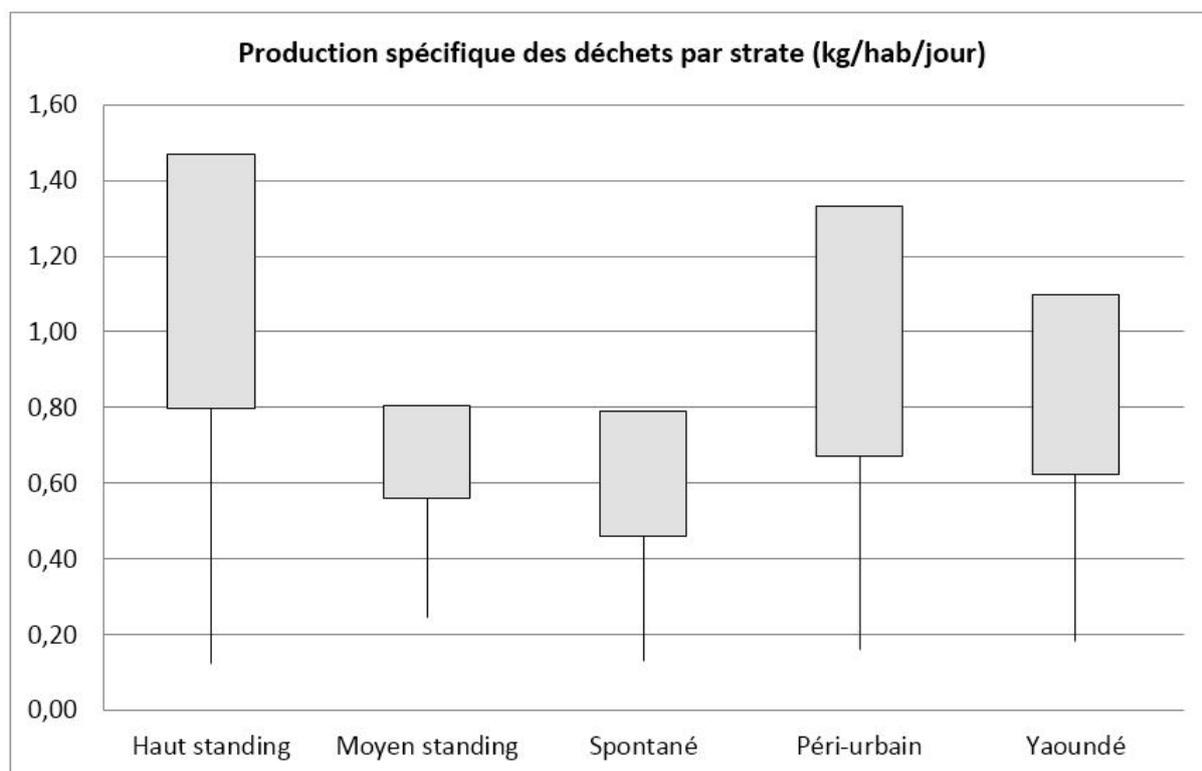
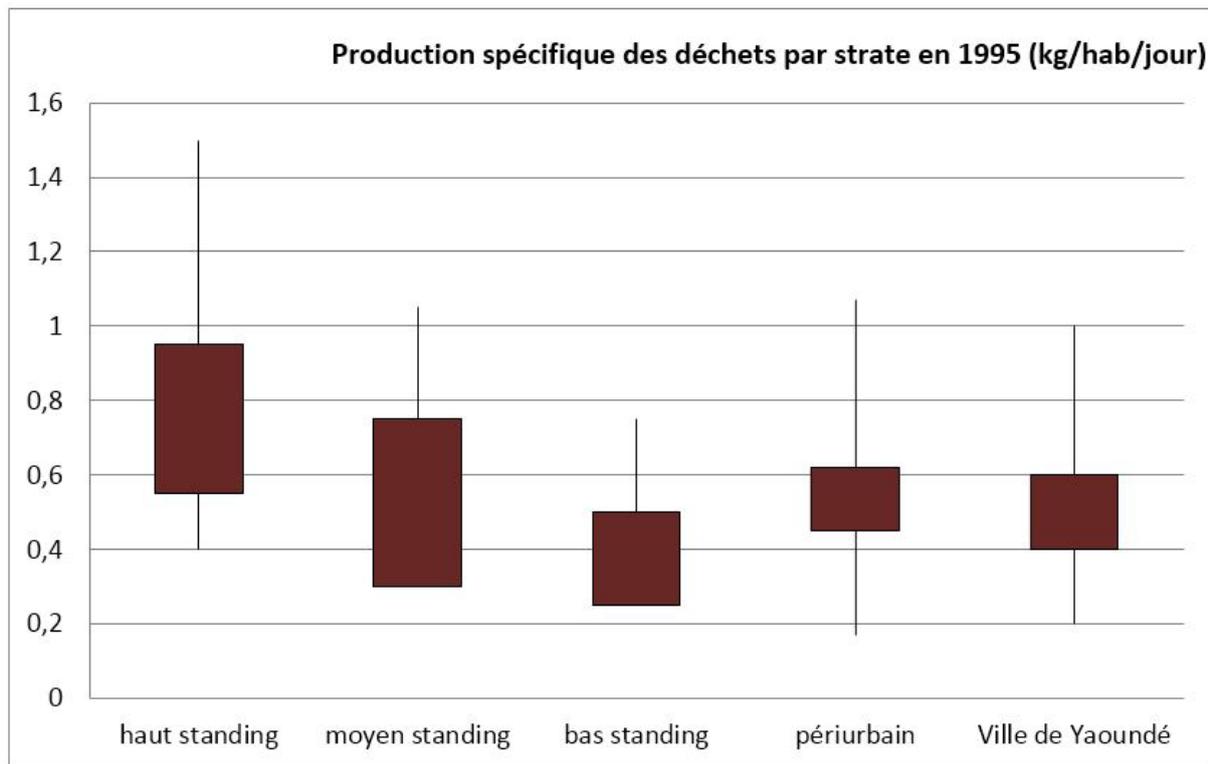
Figure 1 : Production spécifique des déchets ménagers de Yaoundé (campagne 2011).

Figure 2 : Production spécifique des déchets de Yaoundé (campagne 1995)



Une production élevée dans les quartiers de haut standing et dans la zone périurbaine qui peut s'expliquer dans la mesure où la plupart des zones périurbaines sont occupées par des constructions de standing élevé. Les grandes différences résident dans la faible densité de voirie et d'occupation des sols. Il est donc logique que la productivité des déchets soit comparable pour les deux zones, avec une moyenne légèrement inférieure dans les zones périurbaines, qui regroupent un peu plus de logements de bas et moyen standing. De même, la production spécifique des déchets dans les quartiers de moyen standing est comparable au résultat obtenu dans les quartiers à habitat spontané pour la campagne de 2011, avec néanmoins une moyenne plus faible dans les zones spontanées. On peut dire que la production spécifique des déchets semble être également liée aux habitudes de consommation.

En 1995, nous avons obtenu une production spécifique des déchets qui varie entre la saison sèche et la saison pluvieuse. Dans les quartiers de haut standing, la production spécifique moyenne en 2011 de 0,8 kg/hab/jour est inférieure à la moyenne obtenue pendant la campagne de 1995 (0,95 kg/hab/jour en saison sèche). Il en est de même des résultats des quartiers de moyen standing et périurbain. Par contre, la moyenne obtenue dans les quartiers à habitat de bas standing qui correspondent aux quartiers spontanés est comparable à celle de 1995, notamment en saison sèche (0,5 kg/hab/jour).

Le fait que la campagne de mesure de 1995 ait été effectuée pendant une période où il n'y avait pas de service de collecte des déchets dans la ville peut expliquer cette différence.

En effet, en absence de service de collecte des déchets, les ménages auraient profité de la campagne de mesure pour évacuer les déchets déjà stockés dans leur maison. Nous pensons que le résultat de la campagne 2011 reflète mieux la tendance de la production des déchets de la ville de Yaoundé. En effet, le PIB par habitant à Yaoundé ayant plutôt augmenté entre 1995 et 2011, on se serait attendu à une augmentation de la production spécifique des déchets pendant la même période. En effet le taux de croissance du PIB du Cameroun a été de 4,23 % par an entre 2000 et 2002, 3,32 % par an entre 2003 et 2007 et 3,4 % par an entre 2008 et 2011³.

3.2. Evolution de la composition des déchets ménagers

La composition des déchets ménagers bruts a été obtenue directement par le tri manuel des sacs jugés positifs, ce qui correspond pour la campagne de 2011 à 1780 kg de déchets humides triés (Tableau 2).

La masse sèche est obtenue pour chaque fraction des déchets triés, après déduction de la masse de l'eau calculée à partir de la teneur en eau. La masse de l'eau est jugée négligeable pour les fractions où la teneur en eau n'a pas été mesurée. Le tableau 3 donne la composition globale sur matière sèche et matière humide obtenue pour les déchets produits par les ménages en 1995 et 2011. Du point de vue de leur

(3) Document de stratégie de croissance et d'emploi (DSCE) du Cameroun (2011). Premier Ministère.

Tableau 2 : Composition des déchets bruts produits par les ménages (2011)

Catégorie	Classe granulométrique			Total (kg)	Composition (% brut)
	> 100 mm	20 - 100 mm	< 20 mm		
Carton	20,15	0,88	n.d	21,03	1,2 %
Papier	30,31	9,93	n.d	40,24	2,3 %
Plastiques	150,66	17,38	n.d	168,04	9,4 %
Fermentescibles	477,67	876,34	n.d	1354,01	76,1 %
Textiles	41,51	0,64	n.d	42,15	2,4 %
Textiles sanitaires	26,47	0,56	n.d	27,03	1,5 %
Verre	26,6	3,29	n.d	29,89	1,7 %
Composite	10,65	0,41	n.d	11,06	0,6 %
Métaux	11,03	3,19	n.d	14,22	0,8 %
Combustibles (os, cuir, bois)	2,79	1,24	n.d	4,03	0,2 %
Incombustibles (gravats, cailloux)	2,7	0	n.d	2,7	0,2 %
Déchets dangereux	1,29	0	n.d	1,29	0,1 %
D3E	1,21	0	n.d	1,21	0,1 %
Éléments fins	0	0	63,39	63,39	3,6 %
Total	803,04	913,86	63,39	1780,29	100,0 %
Pourcentage	45,1 %	51,3 %	3,6 %	100,0 %	

représentation massive, on a presque un équilibre entre la classe supérieure à 100 mm et celle comprise entre 20 et 100 mm, avec néanmoins, une légère domination de la granulométrie moyenne (51,3 %). Les éléments fins (inférieurs à 20 mm) représentent environ 3,6 % du poids des déchets humides.

Les éléments fins sont constitués majoritairement des matières organiques fermentées, des coques de pistaches, cacahuètes et quelques débris de métaux. Les résultats des campagnes de tri par strate montrent que quelle que soit la strate, la matière organique représente plus de 50 % de cette fraction. Compte tenu du fort taux d'humidité des déchets (62,2 %), la présence de poussière est très faible et certains déchets très humides ont colmaté les mailles du tamis. La campagne de 1995 réalisée pendant la grande saison sèche a permis d'avoir plus d'éléments fins. Les éléments sont constitués des matières organiques et des éléments minéraux (poussière et cendres). C'est pour cela que leur proportion en matière sèche est supérieure à celle de la matière humide (Tableau 3).

Sur les déchets bruts, la matière organique fermentescible est prépondérante à 76 % pour la campagne de 2011. La matière organique fermentescible est constituée des déchets de cuisine (près de 80 %) et des déchets de jardins (près de 20 %). Cette fraction est plus élevée dans les quartiers périurbains (82,5 %). Dans les autres strates, la matière fermentescible reste prépondérante, mais en dessous de la moyenne. Elle est de 74,5 % dans les quartiers d'habitat spontané, 73,1 % dans les quartiers de moyen standing et 72,8 % dans les quartiers de haut standing. Cette forte proportion de la matière or-

ganique biodégradable, couplée au fort taux d'humidité des déchets permet d'envisager la possibilité de valorisation en amendement organique (compostage). Il faut néanmoins pondérer cette possibilité de valorisation car la présence de cette importante fraction fermentescible humide est aussi très propice au développement de la productivité du biogaz de décharge et sa valorisation énergétique après le stockage de ces déchets dans des conditions anaérobies. Dans le cas de Yaoundé, le biogaz capté est simplement brûlé en torchère.

Les matières plastiques, en 2011 représentent en moyenne 9,4 % des déchets bruts. C'est le deuxième contenu le plus important des déchets de Yaoundé. *Les thermoplastiques représentent près de 95 % du gisement de plastiques inventoriés.* Mais dans la plupart des cas ces plastiques se trouvent en mélange, et souillés par les matières organiques. Les matières plastiques représentent 11,5 % des déchets des quartiers d'habitat de moyen standing et 10,5 % des déchets des quartiers d'habitat spontané. Les déchets des zones périurbaines ont la plus faible proportion de matière plastique (6,8 %) suivi des quartiers d'habitat de haut standing (9,1 %). L'humidité des matières plastiques et leur caractère souillé constituent des contraintes à leur valorisation. En effet, leur valorisation nécessite des opérations de lavage et de séchage avant conditionnement pour les unités de recyclage. *Par rapport aux résultats de la campagne de 1995, la proportion des matières plastiques a été multipliée par 4,5 en 15 ans,* ce qui prouve un changement des habitudes de consommation des habitants de Yaoundé. Compte tenu du caractère non renouvelable de cette catégorie de déchets, mais également de leur longue durée de vie dans l'environnement, il est impératif de mettre en place un

Tableau 3 : Composition des déchets ménagers de Yaoundé en 1995 et 2011

	Année	1995		2011	
		Composants	Moy. (%MS)	Moy. (%MB)	Moy (%MS)
1	Papier/carton	3,50 %	3,70 %	5,7 %	3,5 %
2	Plastiques	4,10 %	2,10 %	15,7 %	9,4 %
3	Verre	1,60 %	2,10 %	4,5 %	1,7 %
4	Textiles	4,60 %	1,90 %	3,6 %	2,4 %
5	Textile sanitaire	0,00 %	0,00 %	1,3 %	1,5 %
6	Métaux	4,60 %	3,80 %	2,1 %	0,8 %
7	Composite	-	-	1,2 %	0,6 %
8	Combustibles (os, bois, cuirs)	-	-	0,3 %	0,2 %
9	Gravats	5,9 %	2,90 %	0,4 %	0,2 %
10	Déchets dangereux	-	-	0,2 %	0,1 %
11	D3E			0,2 %	0,1 %
12	Éléments fins < 20 mm	27,60 %	20,90 %	5,8 %	3,6 %
13	Fermentescibles	47,90 %	61,70 %	58,9 %	76,0 %
	Total	100	100 %	100,0 %	100,0 %

système de tri et récupération pour limiter leur impact sur l'environnement.

Les papiers (2,3 %), les textiles (2,4 %), les cartons (1,2 %), les verres (1,7 %) et les textiles sanitaires (1,5 %) *sont faiblement représentés dans les déchets de Yaoundé*. Les papiers, généralement souillés par la matière organique, ne peuvent pas faire l'objet de valorisation matière. Les cartons ondulés sont les plus représentés. Les verres sont plus représentés dans les quartiers de haut standing (3,1 %) et de moyen standing (1,9 %). Les textiles sanitaires sont plus présents dans les déchets des quartiers d'habitat de haut standing (3,9 %) et de moyen standing (2 %).

Les composites (0,6 %) et les métaux (0,8 %) sont *peu présents* dans les déchets ménagers de Yaoundé. La bonne organisation de la filière de récupération des métaux à Yaoundé peut expliquer cette faible présence dans les déchets ménagers.

D'autres catégories, comme les déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (D3E) et les Déchets Ménagers Spéciaux (DMS) se retrouvent sous forme de trace (0,1 %). Les déchets ménagers spéciaux présents sont les piles, les poches de perfusions, les seringues de particuliers et autres médicaments périmés.

Sur les déchets secs, la fraction organique fermentescible reste toujours prépondérante dans les déchets produits par les ménages à Yaoundé avec une moyenne de 58,9 %. Les éléments fins représentent en moyenne 5,8 % en poids des déchets secs.

Comparés aux résultats de la campagne de 1995, on constate :

- une forte augmentation des matières plastiques qui passe de 4,6 % de la matière sèche à 15,7 % ;
- les textiles sanitaires qui étaient pratiquement absents des déchets en 1995 sont présents dans les déchets en 2011 et ceci quelle que soit la zone d'habitation ;
- la proportion des papiers cartons n'a pas beaucoup évolué ;
- les autres fractions comme : les textiles, les verres, les métaux restent faiblement représentés, même dans la matière sèche.

La campagne de 1995 a été effectuée en saison sèche et dans une période où la collecte n'était pas assurée, ce qui explique la forte présence des déchets déjà dégradés qui se retrouvent dans les éléments fins (plus de 27 %) pendant la période de caractérisation.

3.3. Evolution de la masse volumique et du taux d'humidité des déchets produits par les ménages

Les masses volumiques sont mesurées sans aucun tassement. 50 mesures ont été effectuées pendant la campagne de 2011 et permettent d'obtenir une masse volumique moyenne en poubelle de $0,30 \pm 0,08$ tonnes/m³. La médiane est presque égale à la moyenne, ce qui dénote d'une faible variation autour de la moyenne obtenue (Tableau 4).

L'examen de la masse volumique des déchets par strate fait ressortir que cette valeur est plus élevée dans les quartiers de haut standing et spontané (0,34 et 0,31 t/m³) et proche de la moyenne dans les quartiers de moyen standing et les zones périurbaines (0,28 et 0,29 t/m³). Mais dans tous les cas on est toujours en dessous de la masse volumique obtenue pendant la saison des pluies pour les mêmes strates pendant la campagne précédente de 1995 (Ngnikam, 2000). Comparé aux données obtenues dans les autres pays, on peut dire que la masse volumique en poubelle des déchets ménagers de Yaoundé est élevée, ceci à cause de la prépondérance de la matière organique fermentescible dans ces déchets et de leur taux d'humidité.

La masse volumique des déchets entrant à la décharge est mesurée en fonction des strates de production. Pendant la campagne 2011, 89 mesures ont été effectuées sur six bennes à ordures provenant de cinq strates de production (haut standing, moyen standing, spontané, périurbain et marchés). La masse volumique en poubelle moyenne des déchets entrants est de 0,32 ± 0,07. Il y a une faible variation entre les mesures à l'intérieur de la même strate et entre les strates, dans la mesure où l'écart-type sur la moyenne est faible. La masse volumique des déchets entrants est presque identique à celle des déchets prélevés à la source, sauf dans la zone périurbaine.

Dans l'ensemble, le taux d'humidité des déchets ménagers est élevé (plus de 62 % en moyenne), ce qui réduit les possibilités de valorisation énergétique par combustion (Ngnikam et Tanawa, 2006). On constate que la fraction inférieure à 100 mm est plus humide à cause de la forte proportion des matières organiques fermentescibles (Tableau 5).

Le taux d'humidité moyen mesuré est de **62,3 %**. Ce résultat est proche de la moyenne du taux d'humidité obtenu pendant la grande saison des pluies à Yaoundé (65 %) en 1995 (Ngnikam, 2000). Dans la zone périurbaine et les quartiers

de haut standing, on a un taux d'humidité très élevé, à cause des fortes pluies enregistrées dans la ville pendant la période d'observation. C'est la fraction fermentescible des déchets qui est la plus humide quelle que soit la strate.

3.4. Evolution de la composition des déchets entrant sur le site de la décharge

Les déchets entrants ont été prélevés à l'entrée de la décharge de Nkolfoulou à raison d'un seul camion par strate d'habitation et 2 camions pour les marchés. C'est au total 2,8 tonnes de déchets qui ont été triées par campagne (les trois campagnes de caractérisation des déchets entrants ont été effectuées en 2006, 2011 et 2015). Chaque campagne a permis de déterminer les caractéristiques : densité, humidité et composition. Ces paramètres ont été mesurés dans les mêmes conditions que ceux de la campagne effectuée pour déterminer les caractéristiques de la production des ménages.

On constate une différence sur les caractéristiques des déchets prélevés dans les ménages et ceux arrivant à la décharge, ceci d'un point de vue granulométrique et de composition. En effet, la campagne de caractérisation de 2011 effectuée à l'entrée de la décharge permet de constater que la fraction au-dessus de 100 mm représente 53 % des déchets entrants, tandis qu'elle n'était que de 45 % pour les déchets prélevés dans les ménages (Figure 3).

Cette augmentation est due principalement à l'apport des déchets des activités diffuses et des marchés, qui contiennent plus d'encombrants. Dans les déchets du marché de Mfoundi, par exemple, ce sont les sacs d'emballage des vivres provenant des régions intérieures du pays qui prédominent. Au Marché Central par contre, ce sont les emballages en cartons qui dominent dans la fraction de plus de 100 mm.

Tableau 4 : Masse volumique (t/m³) des déchets en poubelle en fonction des strates (août 2011)

Strate	Nombre de mesures	Moyenne	Écart-type	Médiane
Haut Standing	10	0,34	0,05	0,23
Moyen Standing	15	0,28	0,05	0,28
Spontané	15	0,31	0,12	0,30
Périurbain	10	0,29	0,08	0,29
Ensemble	50	0,30	0,08	0,28

Tableau 5 : Variation du taux d'humidité dans les déchets produits par les ménages

Strate	Fraction > 100 mm	Fraction < 100 mm	Humidité globale
Haut standing	58,9 %	71,5 %	65,3 %
Moyen standing	57,2 %	53,5 %	55,5 %
Spontané	61,0 %	57,1 %	57,7 %
Périurbain	69,4 %	74,2 %	70,8 %
Moyenne Yaoundé	61,6 %	64,1 %	62,3 %

pourcentage

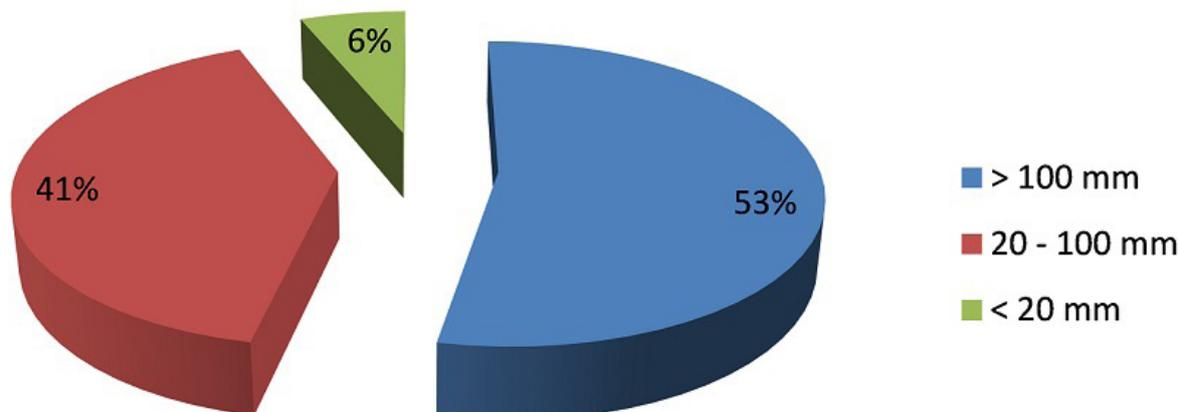


Figure 3 : Composition granulométrique des déchets entrant à la décharge (campagne 2011)

Comparé à la composition des déchets prélevés à la source, on constate que la proportion de matière fermentescible dans les déchets entrants humides sur la décharge est de **59 %**, en dessous de celle mesurée à partir des déchets produits par les ménages (76 %) et cela quelle que soit la strate socio-économique.

Contrairement à ce qu'on pouvait attendre, la matière fermentescible est peu présente dans les déchets provenant des quartiers à habitat spontané (54 %), ce qui signifie que dans ces quartiers, les bacs sont plus remplis par les déchets provenant des activités informelles ou formelles diffuses. Ce résultat confirme les conclusions de l'étude d'inventaire des déchets non ménagers de Yaoundé qui montre que les activités informelles sont plus concentrées dans les quartiers à habitat spontané (CUY, 2011).

Les matières plastiques représentent en moyenne 14,2 % des déchets bruts. C'est le deuxième contenu le plus important des déchets entrant à la décharge de Nkolofoulou. Les thermoplastiques représentent près de 95 % du gisement. En dehors des déchets provenant du marché Central, la plupart de temps ces plastiques se trouvent en mélange et souillés par les matières organiques et d'autres substances.

Les matières plastiques représentent 8,4 % des déchets des quartiers d'habitat de moyen standing, valeur la plus faible et 12,8 % des déchets des quartiers d'habitat spontané. En valeur relative, la matière plastique est plus présente dans les déchets des marchés avec 19,3 % dans les déchets du marché. L'essentiel de ces plastiques est constitué de films (polyéthylène basse densité) qui proviennent plus des activités économiques que des ménages. Ils se présentent sous forme de film de grande taille facile à récupérer. Les autres matières plastiques obtenues ici sont humides et généralement souillées par la matière organique, ce qui constitue une contrainte à leur valorisation.

Les papiers et les cartons sont abondants dans les marchés (17,2 %), car ils constituent les déchets d'emballage des produits de consommation. On note une *absence de caoutchouc (pneus)* dans les strates haut standing, moyen standing et périurbain. Ceci s'explique par la rareté des garages pour automobiles qui sont les premiers producteurs de ce type de déchets. Il faut noter également que le caoutchouc naturel fait l'objet d'une filière de récupération bien organisée dans la ville de Yaoundé et il est très probable que ces déchets soient récupérés en amont par les ménages ou les éboueurs pendant la pré-collecte. Nous avons remarqué que les éléments fins, pour les deux campagnes amont, sont en grande partie constitués de matières organiques et minérales (poussières, cendres de bois).

Les *déchets dangereux* sont constitués essentiellement des déchets hospitaliers, des déchets ménagers contaminés par des produits dangereux ou par des pansements. Ils ne sont pas toujours répertoriés mais ils présentent de graves risques de contamination. Le faible taux de déchets dangereux dans les différentes strates peut s'expliquer d'une part par le faible tonnage des déchets hospitaliers par rapport au flux général entrant dans le site et d'autre part par la pratique de la récupération des batteries de véhicules par les populations et par les propriétaires de garage. On note également la rareté des piles dans les déchets entrants.

La composition des déchets entrant à la décharge est différente de celle des déchets produits en amont par les ménages. En effet, la part combustible dans les déchets entrants dans la campagne de 2011 est plus importante (40 % contre 26,7 % au niveau des ménages). Cette augmentation se fait au détriment des matières fermentescibles (déchets de cuisines et espace vert) où la proportion baisse de 62,4 % à 50,5 % à cause de l'apport des déchets dans les bacs à ordures par les activités diffuses (PME, artisans) (Figure 4).

Tableau 6 : Evolution des déchets entrant dans le site de la décharge de Nkolfoulou (Ngnikam et Tanawa, 2006), (Oumbe, 2015).

	Composition brute (%)		Composition sur MS (%)		
	Campagne 2011	Campagne 2015	Campagne 2006	Campagne 2011	Campagne 2015
Carton	10,4 %	5,9 %	9,7 %	11,7 %	4,3 %
Papier	1,9 %	3,9 %	-	2,3 %	3,8 %
Plastiques	14,2 %	8,7 %	8,3 %	16,0 %	6,7 %
Fermentescibles	58,9 %	56,3 %	65,9 %	46,8 %	63,6 %
Textiles	5,5 %	6,2 %	4,3 %	8,6 %	5,7 %
Textiles sanitaires	0,8 %	1,5 %	0,0 %	0,9 %	1,9 %
Verre et céramique	1,6 %	1,6 %	1,1 %	3,1 %	2,1 %
Composite	0,4 %	0,0 %	0,0 %	0,4 %	0,1 %
Métaux	0,8 %	1,2 %	1,3 %	1,7 %	1,6 %
Combustibles (Os, cuir, bois)	0,8 %	1,6 %	0,8 %	0,9 %	2,1 %
Incombustibles (gravats, caillou, Céramique)	0,3 %	1,2 %	0,9 %	0,9 %	1,5 %
Déchets dangereux	0,1 %	0,2 %	0,1 %	0,3 %	0,0 %
Caoutchouc	0,0 %	0,0 %	0,6 %	0 %	0 %
D3E	0,1 %	0,5 %	n.d	0,30 %	0,6 %
Eléments fins	4,2 %	11,2 %	7 %	6,1 %	5,8 %
Total	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100 %	100,0 %

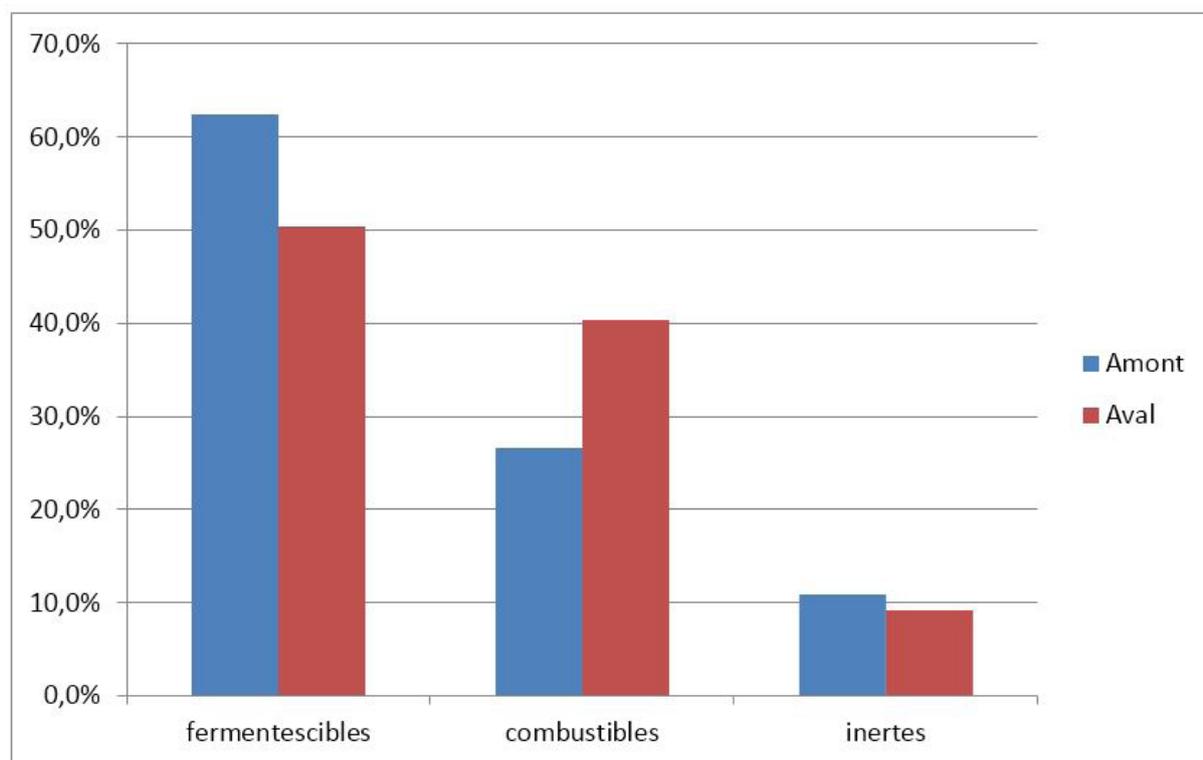


Figure 4 : Variation de la composition des déchets de Yaoundé en amont (dans les ménages) et en aval (entrée de la décharge) par grande catégorie.

Tableau 7 : Evolution des masses volumiques (t/m³) des déchets entrant à la décharge par type de camion de collecte (Oumbe, 2015), (CUY, 2011).

Type de Camion	Campagne 2011		Campagne 2015		Taux de compaction
	Dans la benne	En poubelle	Dans la benne	En poubelle	
Benne tasseuse	0,59	0,3	0,52	0,28	1,9
Mini Benne tasseuse	0,55	0,3	0,47	0,29	1,6
Porte coffre	0,47	0,3	0,38	0,31	1,2
Ampliroll 16 m³	0,33	0,3	0,31	0,29	1,1
Ampliroll 9 m³	0,33	0,28	0,4	0,27	1,5
Benne Ville de Paris	0,41	0,39	0,52	0,28	1,9
Benne Grue			0,69	0,3	2,3
Moyenne	0,44	0,32	0,47	0,29	

Tableau 8 : Evolution du taux d'humidité des déchets entrants

Strate	Humidité moyenne		
	fraction > 100 mm	0 - 100 mm	Global (%)
Marchés	56 %	61 %	58 %
Haut Standing	46 %	73 %	57 %
Moyen Standing	53 %	63 %	59 %
Spontané	47 %	43 %	45 %
Périurbain	62 %	56 %	58 %
Moyenne déchets entrants	52 %	60 %	55 %

L'augmentation de la part combustible, notamment les cartons, est liée aux apports des activités diffuses des PME et des commerçants qui mettent directement leurs déchets dans les bacs de collecte. On note également l'absence des informels sur le site de la décharge, pour pratiquer la récupération de ces fractions. En effet, leur présence sur la décharge a été interdite à partir de 2010 pendant l'instruction du projet de captage de biogaz.

3.5. Evolution de la masse volumique et du taux d'humidité des déchets des ménages et entrant à la décharge

La masse volumique des déchets entrants est déterminée par le type de camion. Plusieurs tests ont été effectués pendant la saison sèche (août et février) et la saison des pluies (juin). Pour chaque type de camion, nous avons mesuré les masses volumiques en benne et en poubelle, c'est-à-dire après déversement des déchets au sol, suivi de pesée dans un demi-fût de 100 litres sans tassement (Tableau 7).

Les valeurs de masse volumique varient selon le type de camion de collecte. Les valeurs maximales sont enregistrées pour les bennes tasseuses et les bennes grues. Les minimums sont enregistrés pour les bennes Ampliroll où aucun tassement n'est effectué sur les déchets. On peut noter que la masse volumique

des déchets entrant en décharge est relativement élevée et ceci indépendamment des saisons. Le taux de compaction obtenu pour les bennes tasseuses est autour de 2 et celui pour la benne grue au-dessus de 2, lié à la pression exercée par la grue sur les déchets pendant le ramassage et le transport. Pour les autres types de camions, bien que la benne soit ouverte, on note une légère variation de volume liée au tassement enregistré pendant le transport. Pour les deux campagnes de mesure, la valeur moyenne de la masse volumique des déchets entrants est proche, soit $0,45 \pm 0,1$ t/m³ pour les déchets en benne et $0,30 \pm 0,05$ t/m³ pour les déchets en poubelle. La masse volumique des déchets entrants, mesurée en poubelle sans tassement est la même que la valeur obtenue pour les déchets ménagers en amont. Le taux de compaction obtenu pour la benne Ville de Paris est anormalement élevé (1,9) compte tenu du fait que ce camion ne dispose pas de système de compactage. Mais ce résultat se justifie par le fait que les déchets sont compactés par petites quantités successives par les éboueurs, pendant la collecte en porte à porte⁴.

Tout comme pour les déchets prélevés à la source, on observe sur le tableau 8 un taux d'humidité élevé des déchets entrants quelle que soit la strate d'origine.

(4) En effet, la benne Ville de Paris est utilisée pour la collecte en porte.

Le taux d'humidité est plus élevé dans les fractions < 100 mm, ce qui est normal car c'est dans cette classe granulométrique qu'on observe le plus de matière organique biodégradable. Par rapport aux déchets prélevés à la source, le taux d'humidité des déchets entrants est relativement faible (55 % contre 62,3 %). C'est parce qu'on trouve dans les bacs échantillonnés, en plus des déchets ménagers, tous les déchets produits par les activités diffuses (ateliers divers, services, ...) voisins du lieu d'implantation du bac en question et qui sont par nature plus secs que les déchets ménagers (emballages, ferrailles, ...). Ce résultat a été confirmé dans la campagne 2015, où on a obtenu un taux d'humidité moyen des déchets de 54,3 % sur les déchets entrants sur le site de Nkolfoulou, avec une variation en fonction du type de camion de collecte (Oumbe, 2015).

4. Discussion

4.1. Faible lien entre la taille des ménages et la production spécifique des Ordures ménagères.

D'une manière générale, la production spécifique des déchets par habitant est faiblement liée à la taille du ménage (figure 5). En effet, le coefficient de corrélation entre la production spécifique des déchets et le logarithme de la taille de ménage est faible. Dans les ménages de faible taille des quartiers à habitat spontané, la production spécifique des déchets est plus élevée comparativement aux ménages de grande taille. A plus de 10 personnes par ménage dans les quartiers à habitat spontané, la production spécifique des déchets est toujours en dessous de la moyenne.

La production spécifique obtenue dans la ville de Yaoundé cadre avec les estimations obtenues dans les villes des pays à revenu intermédiaire qui varient entre 0,6 et 0,9 kg/hab/jour (Achankeng, 2003). Ces données confirment également

l'hypothèse selon laquelle la production des déchets ménagers est liée au niveau de vie des ménages (Ngahane *et al.*, 2015). La production spécifique des déchets de Yaoundé est en dessous de la moyenne de certaines villes africaines de même importance, notamment : Abidjan en Côte d'Ivoire et Niamey au Niger (1 kg/hab/j). Elle est au même niveau que celle des villes de : Ouagadougou, Brazzaville, Conakry, Rabat, Harare au Zimbabwe dont la production spécifique des déchets ménagers se situe entre 0,6 et 0,7 kg/hab/jour (Achankeng, 2003). La production spécifique des déchets ménagers de Yaoundé est plus élevée que celle des villes de Tunis (0,5 kg/hab/j), Accra (0,4 kg/hab/j), Lagos (0,3 kg/hab/j). Mais cette comparaison reste à relativiser puisque nous ne sommes pas certains que les protocoles de mesures soient identiques pour toutes les villes.

Les camions à compaction permettent dans les conditions de Yaoundé de doubler la masse volumique des déchets lors du transport. Mais ce gain se réduit après le déversement des déchets à la décharge. Le gain de volume réalisé lors de transport des déchets ne sera pas traduit en gain d'espace de stockage dans la mesure où les déchets reprennent pratiquement leur masse volumique initiale après le déversement. Tout comme l'ont relevé les travaux de Ngahane dans trois villes africaines, il n'existe pas une différence significative entre les masses volumiques en saison sèche et en saison des pluies (Ngahane *et al.*, 2015).

4.2. L'impact de la collecte sélective et de l'interdiction des sachets plastiques sur la composition des déchets entrant à la décharge

Sur une période de 10 ans, on n'a pas observé une évolution significative de la composition des déchets de la ville de Yaoundé. D'une manière générale, la composition des déchets entrant sur le site de la décharge est fortement dominée par

Figure 5 : Production spécifique des déchets en fonction de la taille du ménage (campagne 2011).

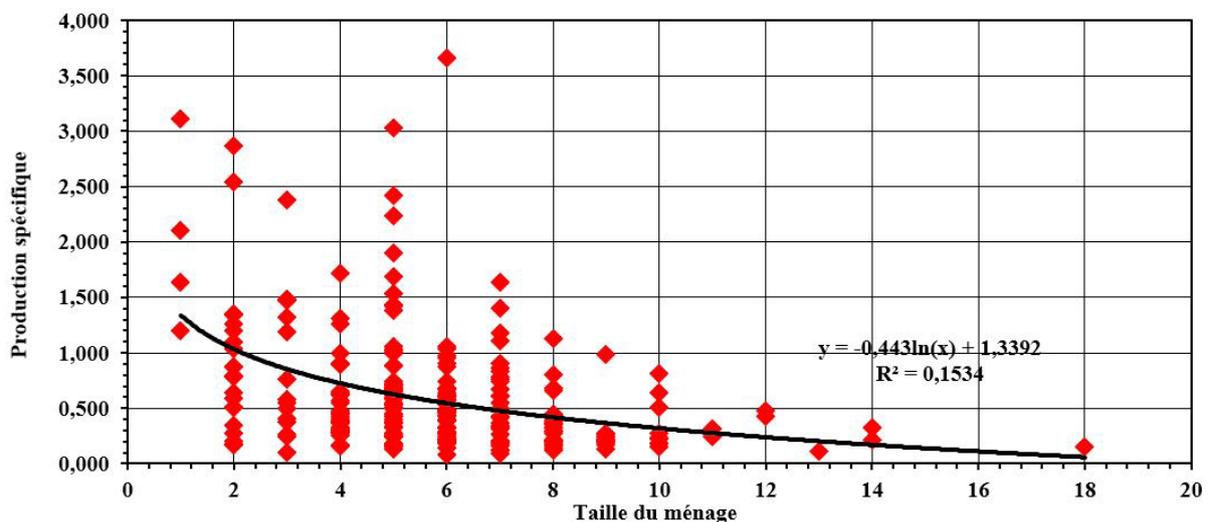
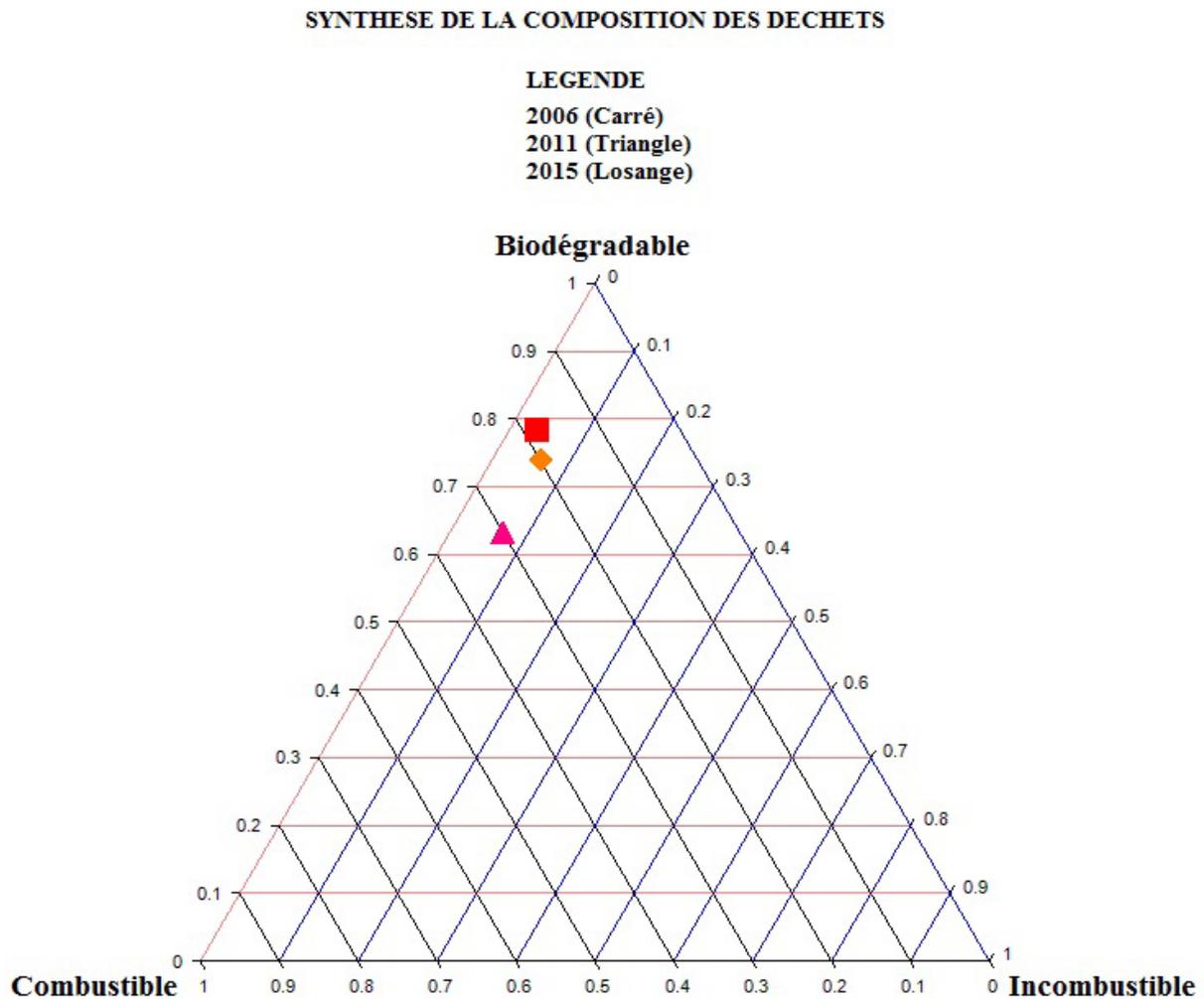


Figure 6 : Diagramme triangle de représentation des déchets entrant à la décharge de Yaoundé entre 2006, 2011 et 2015.



la fraction organique biodégradable (figure 6). Ce diagramme permet de visualiser la composition d'un déchet à partir des trois principales fractions : fermentescibles, combustibles et incombustibles. La base du triangle définit l'axe des combustibles, le côté gauche l'axe des fermentescibles et le côté droit l'axe des incombustibles. La zone supérieure du triangle correspond aux déchets biodégradables. Sur la base des résultats des trois campagnes de caractérisation effectuées sur les déchets entrant à la décharge de Nkolfoulou, on peut dire que ces déchets sont fermentescibles et que leur composition n'a pas beaucoup évolué entre 2006 et 2015. La fraction fermentescible étant aussi combustible, cela justifie qu'on ait plus de 90 % des combustibles dans les déchets entrant à la décharge. Mais c'est la teneur en eau qui devrait permettre de savoir si ces déchets peuvent facilement brûler ou non.

L'avantage de ce diagramme est qu'il peut permettre de faire une comparaison rapide et visuelle de la composition des déchets entre les villes d'un même pays ou des pays différents, et proposer les premières orientations vers les filières de valorisation.

Par rapport à la composition sèche, on constate néanmoins une diminution de la part biodégradable dans les déchets entrants entre 2006 et 2011, puis une légère remontée en 2015. Cette remontée de la part biodégradable est due principalement à la diminution des plastiques dans les déchets entrants entre les deux dates. En effet, entre 2011 et 2015, les matières plastiques dans les déchets entrant dans le Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Nkolfoulou sont passées de 16 % à 6,7 %. Cette diminution des matières plastiques dans les déchets entrants serait liée à deux actions combinées : la mise en place de la collecte sélective des bouteilles d'eau minérale dans la ville par HYSACAM et l'interdiction de la vente des plastiques de faible épaisseur. Le même constat a été fait dans les campagnes de caractérisation des déchets entrant sur le site de compostage de Dschang depuis 2014⁵.

(5) Date d'entrée en vigueur de l'arrêté d'interdiction des sachets plastiques au Cameroun.

Tableau 9 : Teneur en eau des différentes fractions des déchets en fonction de la méthode de séchage [Zahrani, 2006]

Paramètres	Matière organique fermentescible	Éléments fins	Papier et carton	Echantillon global
Taux d'humidité (étuve à 90 °C)	64,2 %	59,7 %	37,7 %	68,1 %
Taux d'humidité (séchage au soleil)	53,1 %	35,6 %	36 %	36,0 %
Durée de séchage (étuve)	60 heures	60 heures	20 heures	
Durée de séchage (soleil)	150 heures	125 heures	100 heures	

4.3. Evolution de la teneur en eau suivant les deux méthodes de mesure

Les résultats de la mesure de la teneur en eau selon les deux approches ont confirmé que le séchage au soleil n'est pas à recommander pour la mesure du taux d'humidité des déchets. En effet, il faut deux fois plus de temps pour obtenir une masse de déchets constante après le séchage au soleil (150 heures contre 80 heures dans une étuve à 90 °C). Pire encore, les mesures effectuées sur le site d'Assouira au Maroc et Nkolfoulou à Yaoundé permettent de conclure que le taux d'humidité obtenu après le séchage au soleil est nettement en dessous de la valeur réelle (Tableau 9) (Zahrani, 2006).

Le séchage au soleil a permis d'extraire 95,5 % du potentiel d'eau dans la fraction « papier et carton », 85 % dans la matière organique biodégradable et seulement 52,8 % dans un échantillon des déchets en mélange. Après 150 heures de séchage au soleil, on n'est pas arrivé à avoir une stabilité de la masse de la matière organique biodégradable, ceci à cause de la difficulté d'évaporation de l'eau interstitielle dans ces conditions de mesure.

CONCLUSION

Les résultats obtenus au terme de cette étude mettent en exergue l'évolution des principales caractéristiques des déchets en amont (dans les ménages) et en aval (à l'entrée du CET) dans la ville de Yaoundé. Pour ce faire, plusieurs campagnes de caractérisation ont été effectuées à diverses périodes. Les résultats obtenus confirment que la production spécifique des déchets ménagers est liée au niveau socio-économique du ménage. La production spécifique des déchets ménagers de Yaoundé est restée constante entre 1995 et 2011. Sur une période de 10 ans, la composition des déchets entrant au CET a varié, ceci sans doute grâce aux améliorations survenues dans la réglementation (interdiction des sachets plastiques) et la collecte sélective des bouteilles plastiques. La masse volumique des déchets a été mesurée à diverses étapes de la filière : dans les ménages avant la collecte, dans divers types de camions pendant la collecte et le transport, à l'entrée de la décharge. Elles varient énormément à chaque étape et en fonction des véhicules de collecte. Par contre, la masse volumique mesurée

en poubelle reste stable au long de la filière de gestion. Cette information est capitale pour dimensionner à l'échelle d'une ville, les matériels de collecte et de transport des déchets ménagers et assimilés. Cette étude a permis également de mettre en exergue, l'influence des activités diffuses (PME et commerce) sur les caractéristiques des déchets collectés dans une ville comme Yaoundé. Cette étude montre une fois de plus, comme signalé par Ngahane *et al.*, en 2015, la nécessité d'une démarche de caractérisation préalable qui prenne en compte de tels facteurs afin de mieux envisager la gestion des déchets solides au sein d'une commune. Lorsqu'on ne dispose pas d'étuve de grande capacité pour effectuer les mesures de teneur en eau des déchets, il est recommandé de mesurer la teneur en eau sur les déchets triés. Le séchage au soleil n'étant pas à recommander comme moyen d'analyse de la teneur en eau des déchets, car il introduit un biais important. Le diagramme en triangle permet de visualiser la composition de déchet d'une ville en trois principales classes (fermentescibles, combustibles et incombustibles). C'est un outil important pour comparer les déchets de différentes villes ou pays, mais également d'orientation d'un déchet vers une filière de valorisation.

Références bibliographiques

Achankeng E. (2003). Globalization, Urbanization and Municipal Solid Waste Management in Africa. *African Studies Association of Australasia and the Pacific 2003 Conference Proceedings - African on a Global Stage*. 22 p. Disponible en ligne au 29/08/2017 : <http://www.wiego.org/publications/urbanization-and-municipal-solid-waste-management-africa>

ADEME (1993), MODECOM TM, Méthode de caractérisation des déchets, *Collection "Connaitre pour agir"*, Paris, 61 p.

ADEME (2014). Caractérisation des déchets ménagers. Conseils et méthodes à destination des collectivités. *Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par le groupement INSAVALOR SA – plateforme PROVADEMSE et TERRA SA*. Angers, avril 2014. 95 p. Disponible en ligne au 29/018/2017 : http://www.sinoe.org/contrib/ademe/carademe/pages/CARADEME_GuideVI-2014.pdf

Alouemine S. O. (2006). Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2006, Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement, 195 p. Disponible en ligne au 29/08/2017 : <http://www.theses.fr/2006LIMO0004>

CUY, Communauté Urbaine de Yaoundé (2011). Stratégie de gestion des déchets de Yaoundé. Rapport de mission I : diagnostic. Etude réalisé par ARTELIA V&P et ECTA BTP pour le compte de la Communauté Urbaine de Yaoundé. Décembre 2011, 220 p.

Ngahane E. L., Ukondalemba M. L., Nsavyimana G., Bigumandondera P., Vassel J.-L. & Ngnikam E. (2015). « Analyse comparative des résultats de caractérisation des déchets ménagers : cas des communes de Bembéréké (Bénin), Kinama (Burundi), Gombe et Kimbanseke (RDC) », *Déchets Sciences et Techniques*, n° 69, 2015, pp : 13-22. DOI : <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3180>

Ngnikam E. (2000). Evaluation environnementale et économique des systèmes de gestion des déchets solides municipaux : analyse du cas de Yaoundé au Cameroun. *Thèse de doctorat en Sciences et Techniques de déchets*, LAEPSI, INSA Lyon, mai 2000. 314 p. Disponible en ligne au 29/08/2017 : <http://www.theses.fr/2000ISAL0032>

Ngnikam E. Tanawa E. (2006). Les villes d'Afrique face à leurs déchets. Edition de l'UTBM (Université de Technologie de Belfort- Montbéliard). Décembre 2006, 281 p. Disponible en ligne au 29/08/2017 : https://www.utbm.fr/wp-content/uploads/2017/04/Arg_EnvironnementEtTechnologie_LesVillesAfrique.pdf

Oumbe R. (2015). Suivi des paramètres de la décharge de Nkolfoulou : caractérisation, tassement et production de lixiviats. Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ENSP, Yaoundé, 105 p.

Plateforme RE-SOURCES (2015). La caractérisation des déchets ménagers en Afrique et dans les Caraïbes : présentation synthétique de l'état des lieux et des retours d'expérience, 4 p. Disponible en ligne au 17/05/2017 : <http://documents.plateforme-re-sources.org/documents/a31-fiche-synthetique-caracterisation/>

Zahrani F. (2006). Contribution à l'élaboration et validation d'un protocole d'audit destiné à comprendre les dysfonctionnements des centres de stockage des déchets (CSD) dans les pays en développement. Application à deux CSD : Nkolfoulou (Cameroun) et Essaouira (Maroc). Thèse de doctorat STD. Insa de Lyon, LAEPSI, décembre 2006. 281 p. Disponible en ligne au 29/08/2017 : <http://theses.insa-lyon.fr/publication/2006ISAL0075/these.pdf>